Der Bodensee – ein Überblick

Reiner KÜMMERLIN

Abstract: **Lake Constance – an overview.** The article provides an overview of Lake Constance with special focus on the origin of the lake, plant and animal communities, food chains, eutrophication and oligotrophication. The prehistory and the history of the lake are presented as well as the environs. Furthermore, the tension between a widely used lake region in a densely populated area and its efforts of an ecological restoration of the water body is described.

Key words: Lake Constance, aquatic biotic communtites, eutrophication, oligotrophication, culture history.

Einführung

Der Bodensee ist von der Fläche her der drittgrößte See und vom Wasservolumen her der zweitgrößte See Mitteleuropas mit einer Fläche von 539 km², wovon 47,6 km² auf den Übersee und 63 km² auf den Untersee entfallen. Seine maximale Tiefe beträgt 254 Meter. Bei Mittelwasser liegt der Seespiegel auf einer Höhe von rund 395 Metern über dem Meer. Das große Wärmespeicherungsvermögen der gesamten Wassermenge von 48,4 km³ führt dazu, dass der Bodensee auf das regionale Klima der Umgebung einen ausgleichenden Effekt ausübt. Das heißt, dass im Sommer nie drückende Hitze herrscht wie z.B. im Oberrheintal; im Winter dagegen ist es deutlich wärmer als in der weiteren Umgebung. Das kann man in der Vorfrühlingszeit sehr schön sehen, wenn man aus dem noch verschneiten Umland auf den See zufährt, wo die Natur bereits die ersten Frühlingsboten ans Licht schickt. Diese klimatische Begünstigung macht es auch möglich, dass sich auf der Insel Mainau üppige subtropische Blumenpracht entfalten kann. Auf der Insel Reichenau, die ihren Gemüseanbau auf die Tradition des aufgehobenen Klosters zurückführen kann, sind zwei bis drei Ernten im Jahr möglich. Die hohe Luftfeuchtigkeit, die regelmäßig am See herrscht, stellt den Weinbau allerdings vor große Herausforderungen.



Abb. 1: Die Insel Mainau mit Ihren Gartenanlagen (Bild ISF Langenargen – H. Löffler).

Denisia **33**,
zugleich Kataloge des oberösterreichischen Landesmuseums
Neue Serie **163** (2014):
115-127



Abb. 2: Der Ort Bodman, der dem Bodensee seinen Namen gab – Auf dem Berg sind sichtbar die Ruine der Burg Alt-Bodman und Schloss Frauenberg, im Ort das Schloss Bodman (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).



Abb. 3: Die Mündung des Alpenrheins in den Bodensee, der so genannte Rheinbrech mit hoher Sedimentfracht (Bild ISF Langenargen – H.G. Schröder).

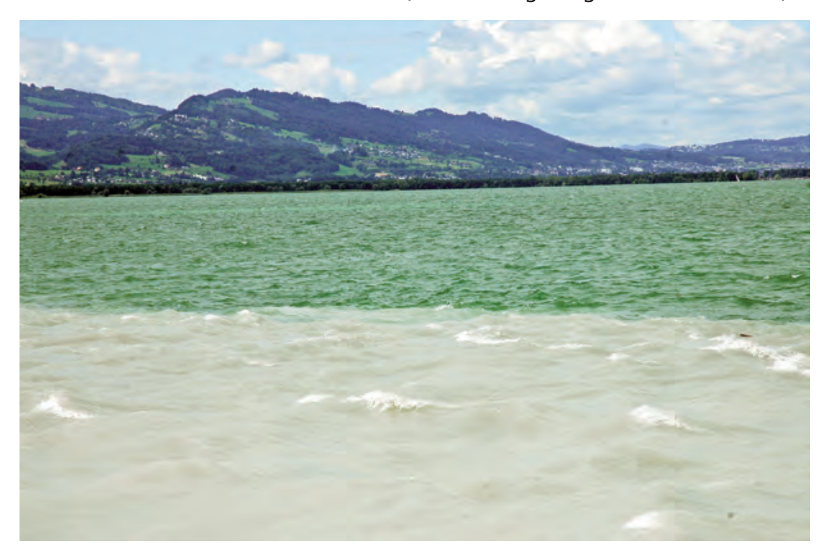


Abb. 4: Der Rheinbrech vom Untersuchungsschiff aus gesehen – Deutlich ist die genaue Abgrenzung der Wässer zu sehen, unten das kalte, trübe und sedimentreiche Alpenrheinwasser, oben das warme, klare und sedimentarme Bodenseewasser (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).

Die Bodenseegegend ist altes Kulturland; dies zeigen die wertvollen Baudenkmäler aus vielen Epochen, was neben der Schönheit der Landschaft sehr zur Anziehungskraft dieser Region beiträgt (Abb. 1). Wie viele irdische Paradiese war und ist auch der Bodensee gefährdet. Durch den starken Anstieg der Bevölkerung in den vergangenen hundert Jahren, durch die Industrialisierung des Umlandes und durch die veränderten Formen der Bewirtschaftung in der Landwirtschaft kamen große Belastungen auf den See zu. Neben den vielen anderen Nutzungen, denen der Bodensee unterworfen ist, ist er Trinkwasserspeicher für über vier Millionen Menschen. Das erklärt auch den hohen Stellenwert, der Schutz dieses größten europäischen Trinkwasserlieferanten genießt. Bis heute wurden mehrere Milliarden Euro in die Abwasserreinigungs-Anlagen des gesamten Einzugsgebietes investiert. Dies war deshalb erforderlich, weil hier nicht nur eine biologische Reinigung des verschmutzten Abwassers notwendig ist, sondern auch eine möglichst vollständige Ausfällung des im Abwasser enthaltenen Phosphors auf chemischem Wege. Der Phosphor ist nämlich der Stoff, der auf die Lebensvorgänge im See einen entscheidenden Einfluss ausübt; er ist Minimum-Stoff im Bodensee wie in den meisten anderen Seen der Welt. Er stammt vor allem aus häuslichen Abwässern; so werden auch die Anstrengungen verständlich, durch eine Reduzierung oder den vollständigen Ersatz des Phosphors in den Waschmitteln eine Entlastung für unsere stehenden Gewässer zu erreichen. In unseren Seen ist der Phosphor der wachstumsbegrenzende Stoff, den die mikroskopisch kleinen Planktonalgen für den Aufbau ihrer Körpersubstanz benötigen. Dieses Phytoplankton ist die Nahrungsgrundlage für das Zooplankton, das sich hauptsächlich aus Kleinkrebsen zusammensetzt. Diese Tiere werden dann ihrerseits von den Fischen gefressen, also hier am Bodensee vor allem von Felchen, andernorts Renken, Maränen oder Rheinanken genannt. Dies sind mit den Lachsen verwandte Arten, die aber keine Raubfische sind, also andere Fische fressen, sondern von planktischen Krebsen leben und so sehr effektiv deren Populationsdichte kontrollieren können. Nachdem die Reinigungsmaßnahmen wieder den ökologischen Zustand wie in den fünfziger Jahren erzielt haben, bedeutet dies eine existentielle Herausforderung für die Berufsfischer, die um ihre berufliche Zukunft fürchten. Zwar kam es schon immer zu großen Schwankungen der Fangerträge von Jahr zu Jahr; seit einigen Jahren nehmen diese Schwankungen existenzbedrohende Ausmaße an, denn es können mehrere fangschwache Jahre hintereinander folgen. Zurzeit wird dies öffentlich stark diskutiert.

Herkunft des Namens

Zu Zeiten der Römer hieß der See „Lacus brigantinus“ nach der römischen Garnisonsstadt Brigantium, das heutige Bregenz. Dort war eine Kriegsflotte stationiert, die manche Seeschlacht mit Eindringlingen auszufechten hatte. Zu Zeiten der fränkischen Herrschaft, die sich auf die Kaiserpfalz Bodman stützte, setzte sich der Name Lacus bodmanicus, also „See von Bodman“ durch. Dieser Name wurde dann allmählich über „Bodamsee“ und „Bodemsee“ zu Bodensee (Abb. 2). Dieser Name wurde in die meisten Sprachen der Welt übernommen, lediglich im romanischen und englischen Sprachgebrauch setzte sich die Benennung nach der größten Stadt am See durch, also „Lac de Constance“, „Lago di Costanca“ oder „Lake Constance“.

Entstehung

Der Bodensee ist ein Kind der Eiszeit; wie viele Seen in Mitteleuropa wurde er durch einen Gletscher geschaffen. Hier war es der Alpenrheingletscher in der Würm-Eiszeit, der das Seebecken ausformte. Da der Eispanzer einige Kilometer dick war, erklären sich die gewaltigen Kräfte, die das mehrere hundert Meter tiefe Becken ausräumten. Hinzu kommt, dass die Sedimentschicht des jetzigen Beckens bereits mehrere hundert Meter dick ist, was das Verständnis der Seeentstehung für Laien erschwert. Heute geht man davon aus, dass geologisch vorgeformte Strukturen vom Alpenrheingletscher benutzt wurden, um das Seebecken auszuschürfen. Durch die gewaltige Sedimentfracht von mehrere Millionen Tonnen, die der Alpenrhein jedes Jahr in den Bodensee transportiert, kommt es zu einer allmählichen Auffüllung des Seebeckens (Abb. 3). Nach Ende der letzten Eiszeit und dem Abschmelzen des Alpenrheingletschers war das ursprüngliche Seebecken sehr viel größer als heute und umfasste einen großen Teil des Alpenrheintals. Wie alle Seen ist der Bodensee im Vergleich zu den Ozeanen ein kurzlebiges Gebilde; in 50.000 Jahren dürfte er zum großen Teil aufgefüllt sein (Abb. 4).

Besiedlung des Bodenseegebietes

Das Bodenseegebiet wurde schon sehr früh besiedelt; aus dem Kesslerloch bei Thayngen in der Nähe von Schaffhausen und der Schussenquelle sind viele Relikte über einen sehr langen Zeitraum aus dem späten Paläolithikum bekannt; es handelte sich um frühe Jäger und Sammler, die noch keinen Ackerbau betrieben und nicht sesshaft waren. Aus dem späten Neolithikum stammen die ersten Siedlungsreste am Ufer in Form von Pfahlbauten. In Unteruhldingen werden in einem Freilichtmuseum mehrere Pfahlbaudörfer als Rekonstruktion gezeigt, die den Zustand im späten Neolithikum und in der Bronzezeit zeigen (Abb. 5). Da keine schriftlichen Zeugnisse aus dieser Zeit erhalten sind, wissen wir heute nichts über die ethnische Zugehörigkeit der Pfahlbauer. Bis jetzt wurde keine einzige Begräbnisstätte gefunden, die sich den Pfahlbauten zuordnen ließ, deshalb können auch keine anthropologischen Untersuchungen an menschlichen Hinterlassenschaften durchgeführt werden. Da die Pfahlbauten wegen ihrer Bauweise aus Holz öfters abbrannten und dann aufgegeben wurden, lassen sich aus den Brandresten trotz des Fehlens schriftlicher Zeugnisse viele Rückschlüsse auf die Lebensweise ihrer Bewohner ziehen. Es handelte sich um sesshafte Ackerbauern, die frühe Weizensorten wie Einkorn, Emmer und Dinkel kultivierten. Ihre Häuser waren aus Bäumen der Weichholzaue gebaut, die am Ufer oder in Ufernähe gewachsen waren. Die Siedlungen standen im sumpfigen Ufer und teilweise im Wasser (Abb. 6).



Abb. 5: Rekonstruktion zweier Pfahlbaudörfer (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).



Abb. 6: Idealisiertes Bild des Lebens in einer Pfahlbausiedlung – Kreuzgang des Insel-Hotels Konstanz (Bild R. Kümmerlin).



Abb. 7: Reichenau- Mittelzell – Münster St. Maria und St. Markus, die ehemalige Klosterkirche Reichenau (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).



Abb. 8: Reichenau-Oberzell – St. Georg, eine der fünf ältesten Kirchen in Deutschland (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).

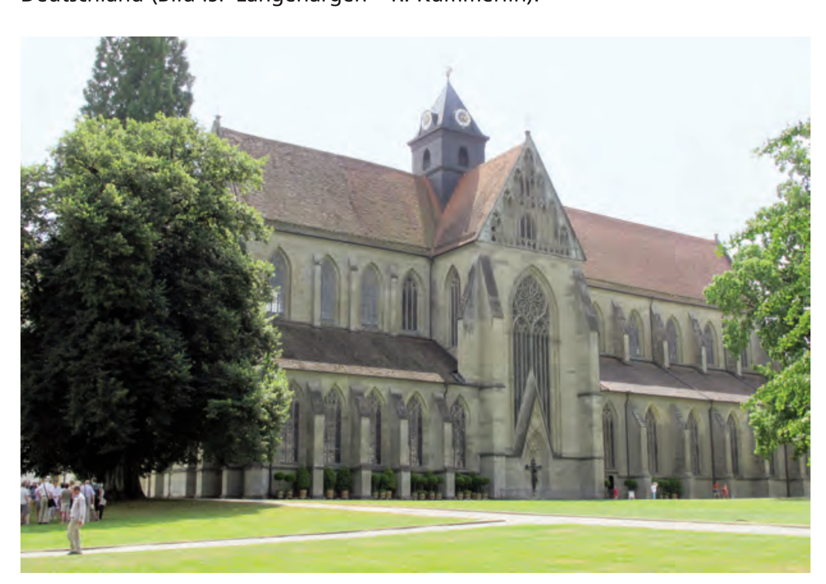


Abb. 9: Münster Salem – Klosterkirche der ehemaligen Zisterzienser-Abtei (Bild R. Kümmerlin).

Bodensee – Kulturland

Während das Bodenseegebiet heute eher etwas abseits der großen Ballungsgebiete wie etwa dem Mittleren Neckarraum oder dem Rhein-Main-Gebiet liegt, war es über einen sehr langen Zeitraum ein Zentrum des Abendlandes. Die Klöster Reichenau, Salem, Petershausen oder Mehrerau und (mit etwas Abstand vom See) St. Gallen trugen entscheidend zur Verbreitung des Christentums und zur Kultivierung des Gebiets bei (Abb. 7). Weltberühmt und ein Schmuck jeder Bibliothek sind die Evangeliarien, die im frühen Mittelalter in den Schreibstuben dieser Klöster in aufwendiger Handarbeit hergestellt wurden (Abb. 8, 9).

Das Bistum Konstanz existierte vom Ende des 6. Jahrhunderts (vermutlich 590) bis 1821 und war damit eines der ältesten und zeitweilig das flächenmäßig größte Bistum im deutschsprachigen Raum (Abb. 10).

Von den Römern war ein sehr leistungsfähiges Straßennetz mit Raststationen angelegt worden, das nach dem Untergang des weströmischen Reichs nicht mehr instand gehalten worden war. Die Transportwege hatten sich während des ganzen Mittelalters und der beginnenden Neuzeit auf das Wasser verlagert, zumal die Straßen in dieser Zeit sehr unsicher waren. Der Bodensee war deshalb ein ideales Zentrum, das im Herz mehrerer Transportwege über das Wasser lag und das aus Rhein, Aare, Donau und angrenzenden Flüssen bestand und einen ausgedehnten Fernhandel bediente. Für den Ferntransport von Südwest nach Nordost war nur für die Strecke von Ravensburg bis Ulm ein Straßentransport notwendig, dann konnte wieder auf Schiffe umgeladen werden. Neuzeitliche Nachbaue des damaligen Schiffstyps, der so genannten Lädine, zeigen die Effektivität dieses alten Transportmittels.

Ein geschichtlicher Höhepunkt im Bodenseeraum war das Konzil von Konstanz 1414-1418. Es war das einzige Konzil nördlich der Alpen und das Einzige, das im Auftrag des Kaisers und nicht im Auftrag der Kirche einberufen wurde und beseitigte das Große Abendländische Schisma, die Zeit der drei Päpste Benedikt XIII. in Avignon, Gregor XII. in Rom und Alexander V. (und dessen Nachfolger Johannes XXIII.) in Pisa. Durch die Wahl von Martin V. war die Einheit der Kirche wiederhergestellt. Ein dunkler Punkt in der Konzilsgeschichte sind die Ketzerprozesse gegen Jan Hus und Hieronymus von Prag, die mit der Verbrennung der beiden auf dem Scheiterhaufen endeten (Abb. 11, 12).

Eine einschneidende Zäsur für das Bodenseegebiet war dann die Zeit der Reformation mit seinen Kriegen und der Dreißigjährige Krieg. Konstanz verlor seine Stellung als Freie Reichsstadt und damit wenigstens teilweise seine Funktion als Handelszentrum. Am Ende

des Dreißigjährigen Krieges erlangte die Schweizerische Eidgenossenschaft die volle staatliche Souveränität; im Westfälischen Frieden im Münster wurde diese besiedelt. Das Bodenseegebiet rückte damit an den Rand des Heiligen Römischen Reichs. Im Jahr 1821 verlor Konstanz das Bistum, das im neu gegründeten Erzbistum Freiburg aufging und sank damit endgültig auf das Niveau einer verschlafenen Provinzstadt herab. Erst durch die Industrialisierung, vor allem durch leistungsfähige Textil-Manufakturen und durch den Anschluss an das Eisenbahnnetz erfolgte ein Aufschwung für die Stadt. Mit Gründung der Universität Konstanz im Jahr 1965 bekam das Bodenseegebiet wieder ein intellektuelles Zentrum, nachdem über Jahrhunderte die nächsten Universitäten in Tübingen, Freiburg und Basel über hundert Kilometer entfernt waren.

Ein Kuriosum des Völkerrechts – der Bodensee ohne festgelegte Grenzen

Der Bodensee war über Jahrhunderte ein Binnensee des Heiligen Römischen Reichs Deutscher Nation; damit war eine Festlegung von Grenzen nicht notwendig. Nach dem Ende des Dreißigjährigen Krieges erlangte die Schweizerische Eidgenossenschaft die volle staatliche Souveränität und schied aus dem Heiligen Römischen Reich aus. Beim Westfälischen Frieden in Münster wurde dieses Ausscheiden aus dem Reich bestätigt, jedoch wurde dabei unterlassen, völkerrechtlich verbindliche Grenzen auf dem Obersee festzulegen.



Abb. 11: Jan Hus als Gefangener im Dominikanerkloster, dem heutigen Insel-Hotel (Bild R. Kümmerlin).



Abb.10: Idealisiertes Bild der Gründung des Bistums Konstanz – Kreuzgang des Insel-Hotels Konstanz (Bild R. Kümmerlin).

Für den Untersee und den Konstanzer Trichter wurden 1854 und 1878 verbindliche Grenzen in einem Vertrag zwischen dem Großherzogtum Baden und der Eidgenossenschaft festgelegt. Für den Obersee gelten nach wie vor keine festgelegten Grenzen. Die drei Anrainerländer sind sich heute einig, dass ein ufernahes Gebiet zum Staatsgebiet des jeweiligen Anrainerlandes gehört, die freie Wasserfläche aber gemeinsam verwaltetes Eigentum der drei Anrainerstaaten ist. Zwar haben die drei Länder unterschiedliche Rechtsauffassungen über die territoriale Zugehörigkeit des Obersees, jedoch besteht hier keine Notwendigkeit einer abschließenden Klärung. In den verschiedenen Kommissionen (Fischerei,



Abb. 12: Der Hussenstein in Konstanz – Hinrichtungsstätte von Jan Hus und Hieronymus von Prag. Verwendet wurde ein tonnenschwerer Findling, den der Alpenrheingletscher an den Bodensee gebracht hatte (Bild R. Kümmerlin).



Abb. 13: Historisches Bild aus den fünfziger Jahren – Einleitung von Industrieabwässern in den Seerhein (Bild Hubert Lehn).



Abb. 14: Bild aus den achtziger Jahren – Laichkrautwiesen mit aufgelagerten Fadenalgen vor Langenargen (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).

Gewässerschutz, Politik) wird seit langem trotz unterschiedlicher Rechtsauffassungen reibungslos zusammengearbeitet.

Die Eutrophierung und die Sanierung des Bodensees und die Rolle der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

Der Bodensee ist ein natürlich oligotropher, also nährstoffarmer See mit einer Phosphor-Konzentration von 3-4 µg/l im anthropogen nicht belasteten Zustand; die geringe Phosphor-Konzentration stammt aus der natürlichen geologischen Hintergrundbelastung von alpinen Gesteinen, vor allem solcher, die Apatit enthalten. Der Bodensee ist Europas größter Trinkwasserspeicher; mehr als 4 Millionen Menschen in den drei Anrainerländern beziehen ihr Trinkwasser daraus. Begünstigt wird dies durch ideale Rahmenbedingungen, nämlich das große Wasservolumen, die große Wassertiefe sowie das große und hochgelegene Einzugsgebiet. Mehr als 40% dieses Einzugsgebiets liegen in über 2000 Meter Höhe. Das große Einzugsgebiet bringt es allerdings auch mit sich, dass zu seinem Schutz kostenaufwendige Maßnahmen ergriffen werden müssen. Dies ist die Ursache, dass bis jetzt rund vier Milliarden €zu der Sanierung des Einzugsgebiets aufgebracht werden mussten (IGKB 2004; Abb. 13, 14).

Diese Sanierung wurde auf Grund der zunehmenden Belastung des Bodensees durch Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet notwendig. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts zeigte sich an Veränderungen der Phytoplankton-Biozönose diese zunehmende Nährstoffbelastung (AUERBACH, MAERKER & SCHMALZ 1924, 1926). Verursacht wurde sie durch den Anstieg der Einwohnerzahl und den Bau von Kanalisationen ohne den gleichzeitigen Bau von Kläranlagen. Dazu kam seit den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts der zunehmende Einsatz von Mineraldünger in der Landwirtschaft sowie seit den sechziger Jahren die Verwendung phosphathaltiger Waschmittel. Da diese Veränderungen frühzeitig bemerkt wurden, gründeten die Anrainerländer des Bodensees bereits 1959 die „Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee" (IGKB), die sich zum Ziel setzte, in einem engagierten Bau- und Investitionsprogramm die Nährstoffbelastung des Bodensees zu reduzieren und den See möglichst wieder auf eine natürliches oder naturnahes Nährstoffniveau zu bringen. Bereits 1965 wurde mit dem Bau von Kläranlagen begonnen, deren entscheidender Unterschied gegenüber vergleichbaren Konstruktionen eine dritte Reinigungsstufe ist. Hier wird nach der mechanischen und der biologischen Reinigung der Abwässer mit Hilfe von chemischen Fällmitteln wie Eisen- oder Aluminiumchlorid oder vergleichbarer Substanzen aus dem geklärten Abwasser der Phosphor zu einem Anteil von 90 – 95% ausgefällt und damit dem Naturkreislauf entzogen. Auf diese Weise gelang es, die Nährstoffkonzentration wieder auf das naturnahe Niveau der fünfziger Jahre zurückzuführen.

Die Lebensgemeinschaften des Bodensees

Phytoplankton

Da das Phytoplankton als unterste Stufe der Nahrungskette aus den verfügbaren mineralischen Nährstoffen, dem Kohlendioxid und dem Sonnenlicht seine Körpersubstanz aufbaut, kommt ihm bei der Beurteilung von Lebensvorgängen im See besondere Bedeutung zu.

Es reagiert auf Änderungen der Nährstoffsituation unmittelbar, ist also ein direkter Anzeiger der Trophie eines Gewässers. Die höheren Stufen der Nahrungskette, also Zooplankton und Fische, zeigen ein von der Nährstoffsituation stärker entkoppeltes Verhalten; ihre Abundanz hängt mehr von Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Stufen der Nahrungskette ab als dies beim Phytoplankton der Fall ist.

Wie in den meisten stehenden Gewässern limitiert Phosphor auch im Bodensee über einen großen Teil des Jahres das Wachstum des Phytoplanktons, ist also Minimumstoff. Die Reduzierung der Phosphorfracht war also der einzig Erfolg versprechende Weg, die Eutrophierung des Bodensees zu bremsen und wieder auf ein Maß zurückzuführen, das für den ökologischen guten Zustand des Bodensees notwendig ist. Ziel war das Erreichen des Referenzzustandes, was bei den gegebenen geochemischen Voraussetzungen eine Gesamtphosphorkonzentration von 4-5 µg/l bedeuten würde. Da dies unter den Randbedingungen der heutigen Landwirtschaft und der zunehmenden Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet des Bodensees nicht erreicht werden kann, pendelt sich die endgültige Phosphorkonzentration im Bereich von 6-7 µg/L ein; dieses Ziel wurde bereits 2009 erreicht und hat sich seither nicht mehr wesentlich verändert.

Die quantitative Bestimmung des Phytoplanktons durch direkte Zählung am Umkehrmikroskop ist die einzige Methode, die aktuelle Biomasse bzw. das Biovolumen korrekt zu ermitteln. Zwar ist diese Methode sehr zeitaufwendig und erfordert eine lange Einarbeitungszeit, es werden aber gültige Aussagen über die Belastung des Gewässers durch die aktuelle Primärproduktion ermöglicht. Ersatzmessungen wie die Bestimmung der Chlorophyllkonzentration sind nur bedingt aussagekräftig und vergleichbar, da der Chlorophyllgehalt einer Algenpopulation stark von der Artenzusammensetzung und dem ökologischen Zustand dieser Population abhängt. Die seit 1961 vorliegenden Planktonzählungen zeigen den Anstieg der Eutrophierung des Bodensees seit Beginn der regelmäßigen Überwachungsmaßnahmen und die nach einem Maximum seit 1981 zu beobachtende Phase der Re-Oligotrophierung durch die Veränderung der Biomasse des Plankton, vor allem aber durch die Änderung der Artenzusammensetzung.

Qualitative Bestandsaufnahmen erlauben nur eingeschränkte Aussagen, da keine Bestimmung der Biomasse möglich ist. Die Veränderungen der Artenzusammensetzung lassen sich jedoch mit Beobachtungen der letzten hundert Jahre vergleichen; die Nutzung der einzelnen Algenarten als Indikatororganismen erlauben so Schlüsse auf die Veränderungen des ökologischen Zustands des Bodensees im Lauf dieser langen Beobachtungszeit.



Abb. 15: Urform des Umkehrmikroskops zur quantitativen Planktonuntersuchung mit Max Auerbach, dem ersten Leiter der Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz (Bild Ulrike Auerbach).



Abb. 16: Planktonzählung am modernen Umkehrmikroskop (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).

Die ersten Bestandsaufnahmen des Phytoplanktons im Bodensee erfolgten bereits 1896 (SCHRÖTER & KIRCHNER); am Bodensee liegen also mit die ältesten Untersuchungen des Phytoplanktons auf der Welt vor. Bedingt durch die Untersuchungsmethode sind nur qualitative Aussagen möglich. Diesen ersten Arbeiten folgten 1912 (KOLKWITZ) und 1925 (LAUTERBORN) weitere stichprobenartige Untersuchungen. An der 1918 neu gegründeten Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz führte Maerker 1919 bis 1924 längere Beobachtungsserien mit quantitativer und qualitativer Bestimmung des Phytoplanktons durch (AUERBACH, MAERKER & SCHMALZ 1924, 1926). Diese Untersuchun-

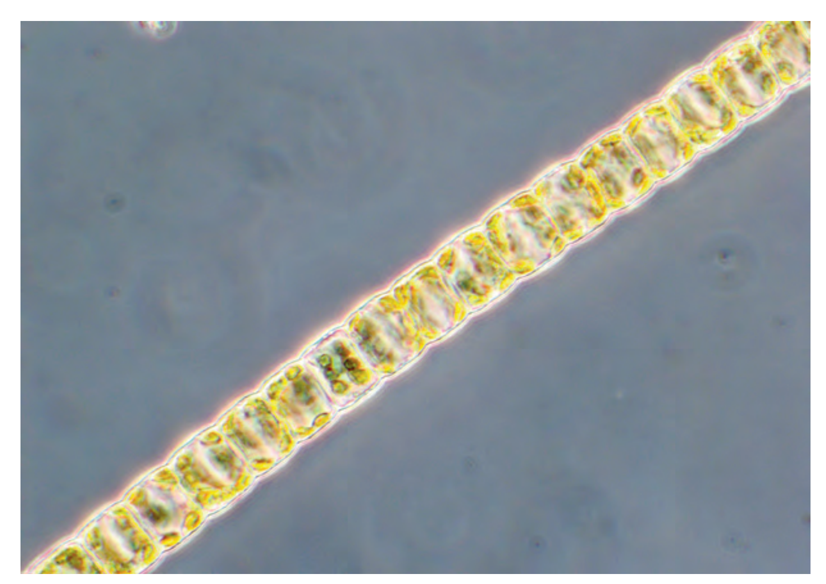


Abb. 17: *Stephanodiscus binderanus* – ein starker Eutrophierungsanzeiger, der sehr hohe Nährstoffkonzentrationen braucht (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).

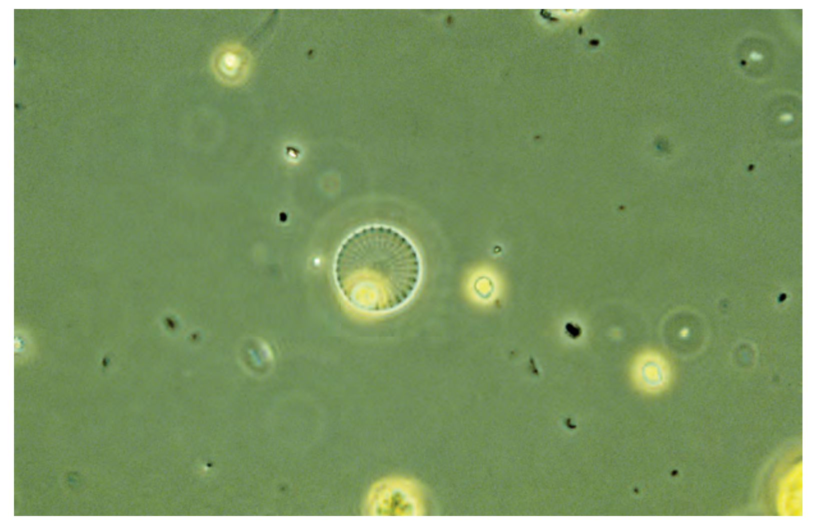


Abb. 18: *Stephanodiscus hantzschii* – ein deutlicher Eutrophierungsanzeiger, der hohe Nährstoffkonzentrationen braucht (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin.

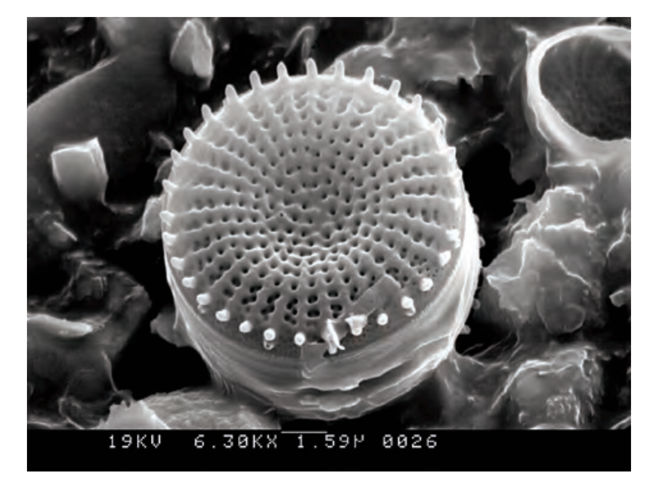


Abb. 19: *Stephanodiscus parvus* – ein weiterer Eutrophierungsanzeiger, der etwas geringere Nährstoffkonzentrationen als *S. hantschii* braucht (Bild ISF Langenargen – V. Burkhardt).

gen brachten bereits einen methodischen Fortschritt in der quantitativen Phytoplanktonbestimmung mit sich; die Proben wurden mittels Schöpffängen mit anschließender Zentrifugierung entnommen; diesen Fängen fehlten jedoch nach dem Zentrifugationsvorgang die aktiv beweglichen Formen (Abb. 15, 16).

Seit der Entwicklung des Umkehr-Mikroskops (Utermöhl 1931, 1936, 1958) sind korrekte quantitative Planktonuntersuchungen möglich. Für den Bodensee fand dies zuerst in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts durch Grim (1939) statt. Zu diesem Zeitpunkt waren noch keine größeren Veränderungen in der Artenzusammensetzung gegenüber den früheren Untersuchungen festzustellen. Die zunehmende Eutrophierung ab Anfang der fünfziger Jahre führte dann allerdings bald zu Änderungen der Biozönose, die von Grim (1951, 1955, 1967) und Müller (1967) näher beschrieben werden. Ab 1957 wurden von der Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz (1957, 1958, 1959, 1960, 1961,1962) regelmäßige Planktonzählungen im Überlinger See durchgeführt, die in den „Limnologischen Monatsberichten - Überlinger See" veröffentlicht wurden. Die Veränderung der Phytoplankton-Biozönose wurde daran sichtbar, dass bereits 1957 mehrere *Stephanodiscus*-Arten stärker auftraten (*S. binderanus*, *S. hantzschii* und *S. parvus*), die dezidierte Eutrophierungsanzeiger sind (Abb. 17, 18, 19). Die früher vorherrschenden *Cyclotella*-Arten wie *C. bodanica*, *C. cyclopuncta* und weitere Arten verschwanden zunehmend und wurden ab 1965 kaum noch gefunden (Abb. 20, 21). Auch am Auftreten oder Verschwinden bestimmter Arten wurde der Einfluss der Eutrophierungs-Phase deutlich. Lehn (1965) beschrieb das Verschwinden von *Rhizosolenia longiseta* ab 1955 und von *Tabellaria fenestrata* ab 1962, im Gegenzug das Auftauchen von *Mougeotia thylespora* ab 1957 und von *Planktothrix redekii* ab 1961 (Abb. 22, 23, 24, 25).

Nach Gründung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) wurde das Phytoplankton 1961-1962 und ab 1965 regelmäßig durch Erfassung und Auszählung der einzelnen Arten untersucht. Die Ergebnisse sind in den IGKB-Berichten Nr. 18 (Bürgi 1976), Nr. 21 (Bürgi 1977), Nr. 23 (Bürgi & Lehn 1979), Nr. 39 (Kümmerlin & Bürgi 1989) und Nr. 59 (Jochimsen, Kümmerlin & Straile 2014) dargestellt. Außerdem werden in den Jahresberichten der IGKB Angaben zur Planktonentwicklung in den einzelnen Seeteilen gemacht.

Zooplankton

Im Bodensee finden wir ein klassisches Zooplankton aus Cladoceren mit verschiedene Wasserfloh-Arten und Copepoden mit den versch,iedene Hüpferling-Arten.

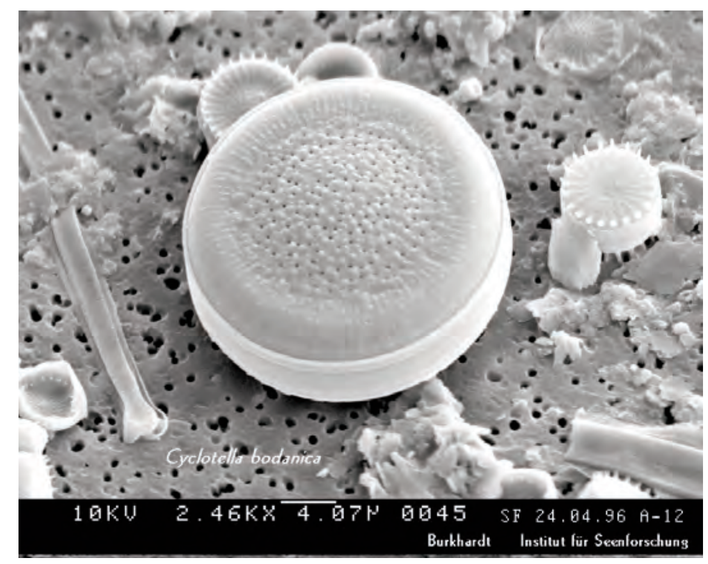


Abb. 20: *Cyclotella bodanica* – ein ausgesprochener Oligotrophierungs-Anzeiger, der bereits bei mittleren Nährstoffkonzentrationen verschwindet (Bild ISF Langenargen – V. Burkhardt).

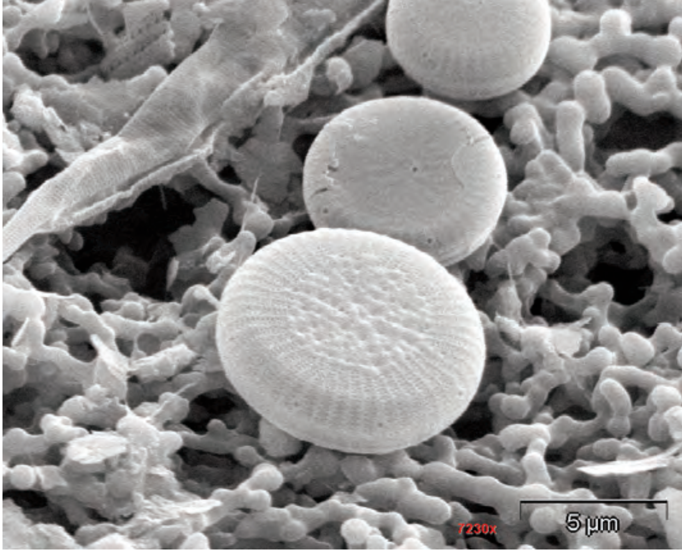


Abb. 21: *Cyclotella cyclopuncta* – ein weiterer Oligotrophierungs-Anzeiger, der bereits bei mittleren Nährstoffkonzentrationen verschwindet (Bild ISF Langenargen – V. Burkhardt).



Abb. 22: *Rhizosolenia longiseta* – ein extremer Oligotrophierungs-Anzeiger, der bereits bei niedrigeren Nährstoffkonzentrationen verschwindet (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).

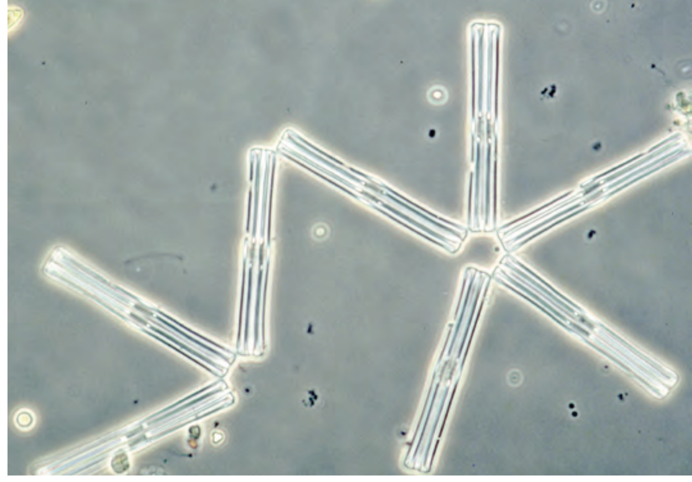


Abb. 23: *Tabellaria fenestrata* – ein Anzeiger für mittlere Nährstoffkonzentrationen (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).

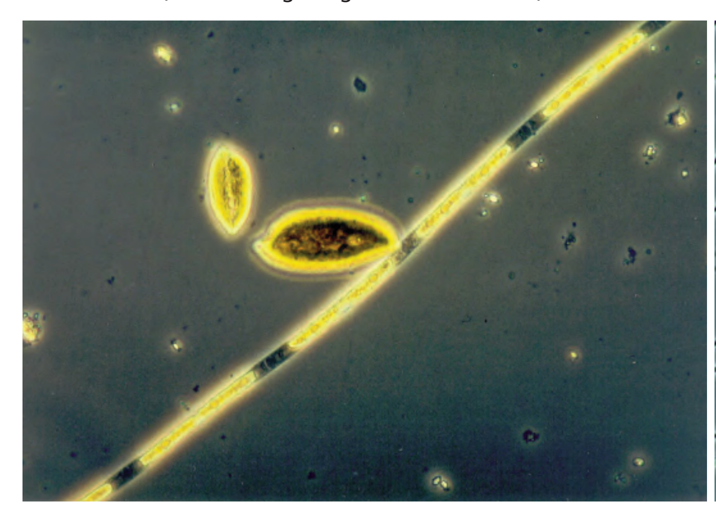


Abb. 24: *Mougeotia thylespora* (Bildmitte) – ein Anzeiger für hohe Nährstoffkonzentrationen (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).



Abb. 25: *Planktothrix redekii* – ein Anzeiger für sehr hohe Nährstoffkonzentrationen (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).



Abb. 26: *Daphnia cf. galeata* – Wasserflöhe sind sehr effektive Filtrierer und können so zeitweise das Phytoplankton kontrollieren. Sie selbst sind eine Hauptnahrungsquelle für die Felchen (Bild ISF Langenargen – H. Müller).

Die Wasserflöhe mit mehreren *Daphnien*-Arten sind typische Filtrierer, die am Tag bis zu zwei Liter Wasser filtrieren können und so sehr effektiv das Phytoplankton kontrollieren können. *Bosmina*-Arten waren während der Eutrophierungszeit des Bodensees sehr zahlreich; sie



Abb. 27: *Bosmina cf. longirostris* – Rüsselkrebse kommen vor allem bei höheren Nährstoffkonzentrationen vor und sind effektive Bakterien-Filtrierer (Bild ISF Langenargen – H. Müller).

sind effektive Bakterien-Filtrierer. Große Zooplankton-Arten wie *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii* und *Diaphanosoma brachyurum* sind bevorzugte Nahrungsquelle für die Felchen; während die großen Zooplankter 5% bis maximal 10% der Biomasse des Zooplanktons einnehmen, erreichen sie bei Mageninhaltsuntersuchungen einen Anteil von 50% (Abb. 26, 27).

Fischfauna

Wie bei den meisten Alpen- und Voralpenseen bilden die verschiedenen Felchen-Arten (*Coregonus*) den größten Teil der Fisch-Population; umgangssprachlich werden sie als „Brotfisch der Berufsfischer" bezeichnet. Im Zuge der Eutrophierung des Bodensees änderten sich die Verhältnisse jedoch sehr stark. Das Zooplankton vermehrte sich so stark, dass die Barsche (*Perca fluviatilis*), deren Bestand normalerweise sehr viel kleiner als der der Felchen ist, auf diese Nahrungsquelle übergingen. Barsche sind Raubfische, die hauptsächlich in Flüssen leben und andere Fische fressen. Im Bodensee besiedelten die Barsche im Zuge dieser Nahrungsumstellung die Uferzone, vermehrten sich sehr stark und wurden so während der Eutrophierungsphase zum zweiten Brotfisch der Berufsfischer. Viele Jahre waren die Fangerträge der Barsche höher als die der Felchen. Im Zuge der Oligotrophierung des Sees nahmen diese Erträge jedoch ab und sanken wieder unter die der Felchen. Inzwischen sind die Jungfische der Barsche wieder auf Fischnahrung übergegangen, wie man aus Magenuntersuchungen festgestellt hat. Noch dramatischer waren die Veränderungen im Zuge von Eutrophierung und Oligotrophierung bei den Weißfischen, also Brachsen (*Abramis brama*), Rotauge (*Rutilus rutilus*), Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*), Hasel (*Leuciscus leuciscus*) und vielen weiteren Arten. Während diese Arten im oligotrophen Bodensee nur eine geringe Rolle spielten, nahmen die Fangerträge mit ansteigender Eutrophierung laufend zu. Zur Hochzeit der Eutrophierung konnte im Untersee der Beifang aus Weißfischen bis zu 90% des Gesamtfangs betragen, die Edelfische hatten also gerade noch einen Anteil von 10%. Dieser große Beifang an Weißfischen brachte Probleme mit der Vermarktung mit sich; zeitweise wurde er zu Tierfutter verarbeitet oder endete in der Tierkörperverwertung (Abb. 28).

Wegen des abgesunkenen Nährstoffniveaus werden von den Berufsfischern seit einigen Jahren vor allem Felchen und in geringerem Maß Barsche gefangen. Die anderen Fischarten spielen außer Hechten (*Esox lucius*), Aalen (*Anguilla anguilla*)und Seeforellen (*Salmo trutta*) kaum noch eine wirtschaftliche Rolle. Während schon in früheren Jahren große Schwankungen bei den jährlichen Fangerträgen vorkamen, sind diese Schwankungen inzwischen für die Berufsfischer existenzbedro-

hend, da mehrere fangschwache Jahre hintereinander folgen können. Zur Zeit versuchen die Fischer mit intensiver Öffentlichkeitsarbeit auf diese Probleme aufmerksam zu machen und eine erneute Anhebung des Nährstoffniveaus durchzusetzen. Von wissenschaftlicher Seite wird eine solche Anhebung strikt abgelehnt.

Der Bodensee im Spannungsfeld seiner Nutzungen

Wohl kaum ein anderer See auf der Erde ist einem solchen Spannungsfeld aus mehreren Nutzungen unterworfen wie der Bodensee. Wer sich dem Bodensee nähert, sieht sofort die intensive Landwirtschaft, die dort getrieben wird. In Seenähe sind es Sonderkulturen wie Erdbeeranbau vor allem um Bodman-Ludwigshafen, Obstbau um Langenargen oder Weinbau in Meersburg und Hagnau. Weiter im Hinterland findet sich der Anbau von Hopfen um Tettnang. Klassische bäuerliche Landwirtschaft findet man vor allem im Bereich des Linzgaus um Markdorf und im bayerischen Bodenseevorland bei Lindau (Abb. 29).

Gleichzeitig sind der Bodensee und sein Umland ein klassisches Touristikziel, das in den letzten Jahren einen erfolgreichen Wandel vom etwas angestaubten Image einer traditionellen Urlaubsgegend zum Ziel für ein moderneres Publikum erlebt hat. Sehr intensiv ist die direkte Nutzung des Sees für die Freizeitschifffahrt mit Segel- und Motorbooten. Da genaue Statistiken fehlen, kann die Gesamtzahl der behördlich gemeldeten und tatsächlich im Wasser befindlichen Wasserfahrzeuge nicht genau bestimmt werden. Man kann davon ausgehen, dass sich um die 30.000 Freizeitfahrzeuge im See befinden (Abb. 30).

Wer im Stau der Straßen um den Bodensee gesteckt hat, erlebt leidvoll die Erfahrung, dass das Bodenseegebiet Transitland mit intensivem Verkehr ist. Für den Nord-Süd-Verkehr existieren mehrere Autobahnen, der West-Ost-Verkehr wälzt sich jedoch immer noch über stark belastete Bundesstraßen. Eine Änderung dieser Situation ist nicht in Sicht.

Das Bodenseegebiet ist begehrtes Wohnland mit ansteigender Bevölkerungsdichte, die fast ausschließlich durch Zuzug aus den anderen Landesteilen erzeugt wird. Negative Begleiterscheinungen dieses Zuzugs sind extrem hohe Immobilienpreise, teilweise Verdrängung wirtschaftlich schwächerer Bevölkerungskreise vom Wohnungsmarkt sowie starke Nachverdichtung bestehender Wohnbebauung (Abb. 31).

Am nördlichen Bodenseeufer sticht die High-Tech-Industrie ins Auge, die zum großen Teil Nachfolge-Industrie des ehemaligen Zeppelin-Luftschiffbaus in Friedrichshafen und Umgebung ist. Hoch qualifiziertes



Abb. 28: Reicher Fischzug in den siebziger Jahren – Durch die hohe Nährstoffkonzentration kommt es zur Entwicklung starker Weißfischpopulationen, vor allem Brachsen (Bild ISF Langenargen – H. Müller).



Abb. 29: Intensiv-Landwirtschaft am Bodensee – Weinbau bei Hagnau (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).



Abb. 30: Intensive Sportbootschifffahrt am Bodensee (Bild ISF Langenargen –



Abb. 31: Hochverdichtete Wohnbebauung am Bodensee – Wohntürme in Immenstaad (Bild ISF Langenargen – R. Kümmerlin).



Abb. 32: High-Tech-Industrie am Bodensee – das Airbus-Werk in Immenstaad mit der ehemaligen Dornier-Mole, die im Zweiten Weltkrieg zum Testen von V1-Flugkörpern diente (Bild ISF Langenargen – H. Löffler).

und hochbezahltes Personal wirbt man mit dem Slogan „Arbeiten Sie dort, wo andere Urlaub machen" (Abb. 32).

Eine solche Konzentration dieser fünf Nutzungen gibt es kaum irgendwo anders auf der Erde. Umso bewundernswerter ist die Tatsache, dass trotz dieser intensiven Inanspruchnahme der Bodensee und sein Umland nahezu intakt geblieben sind. Dies ist den intensiven Bemühungen seiner Bewohner, den entsprechenden Verwaltungen, Umweltverbänden und zwischenstaatlichen Organisationen zu verdanken. Dieses Ergebnis ist keine Selbstverständlichkeit.

Zusammenfassung

In diesem Übersichtsartikel werden folgende Aspekte des Bodensees und seiner Umgebung angesprochen: Entstehung des Sees, Vorgeschichte und geschichtliche Entwicklung am See, kulturelle Bedeutung der Bodenseegegend, Lebensgemeinschaften im See, Belastung des Sees mit Nährstoffen und deren Eliminierung durch eine konzentrierte Anstrengung der Anrainerstaaten, indem konsequent fast sämtliche Abwässer geklärt werden und der als Minimumstoff dienende Phosphor aus dem Abwasser ausgefällt wird. Auf diese Weise wurde der ökologische Zustand der fünfziger Jahre wieder hergestellt. Es wird gezeigt, welche Spannungsfelder in einer dicht besiedelten und vielfältig genutzten Region See vorliegen.

Literatur

Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz (1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962): Limnologischer Monatsbericht Überlinger See — als Manuskript herausgegeben.

Auerbach M., Maerker W. & J. Schmalz (1924): Hydrographisch-biologische Bodenseeuntersuchungen I. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **3**: 597-738.

Auerbach M., Merker W. & J. Schmalz (1926): Hydrographisch-biologische Bodenseeuntersuchungen II. — Verh. Naturwiss. Ver. Karlsruhe **30**: 1-128.

Bürgi H.-R. (1976): Die Phytoplanktonentwicklung im Bodensee in den Jahren 1961-1963. — Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee **18**: 1-87.

Bürgi H.-R. (1977): Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1963-1973); Teil 1 - Untersee. — Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee **21**: 1-42.

Bürgi H.-R. & H. Lehn (1979): Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1965-1975); Teil 2 — Obersee.-Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 23: 1-86.

Grim J. (1939): Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung. — Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr. **39**: 193-315.

Grim. J. (1951): Ein Vergleich der Produktionsleistung des Bodensee-Untersees, des Obersees und des Schleinsees. — Abh. Fisch. u. Hilfswiss. **4**: 787-841.

Grim J. (1955): Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensee-Obersees in den letzten 30 Jahren. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **22**: 310-322.

Grim J. (1967): Der Phosphor und die pflanzliche Produktion im Bodensee. — GWF **108**: 1261-1271.

IGKB (2004): Der Bodensee – Zustand, Fakten, Perspektiven — ISBN 3-902290-04-8, Bregenz: 1-177.

Kolkwitz R. (1912): Das Plankton des Rheinstroms, von seinen Quellen bis zur Mündung. — Ber. D. bot. Ges. **30**: 205-226.

Jochimsen M., Kümmerlin R. & D. Straile (2014): Phytoplanktonentwicklung im Bodensee von 1965-2007. Einfluss von trophischen und klimatischen Veränderungen — Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee **59**: 1-116.

Kümmerlin R. & H.-R. Bürgi (1989): Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1965-1986) — Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee **39**: 1-175.

LAUTERBORN R. (1925): Zur Kenntnis des Planktons des Bodensees und der benachbarten Kleinseen. — Mitt. Bad. Landesv. Naturkunde N.F. **1**: 421-420.

LEHN H. (1965): Ufernahe Phytoplankton-Biozönosen und ihre Bedeutung für das Pelagial. — Z. Naturforschg. **20b**: 379-382.

MÜLLER H. (1967): Eine neue qualitative Bestandsaufnahme des Phytoplanktons des Bodensee-Obersees mit besonderer Berücksichtigung der tychoplanktischen Diatomeen. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **33**: 206-236.

SCHRÖTER C. & O. KIRCHNER (1896): Die Vegetation des Bodensees. — Schr. d. Ver. f. d. Gesch. d. Bodensees **25**: 1-122.

UTERMÖHL H. (1931): Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Plankton (mit besonderer Berücksichtigung des Ultraplanktons). — Verh. Internat. Verein. Limnol. **5**: 576-596.

UTERMÖHL H. (1936): Quantitative Methoden zur Untersuchung des Nannoplanktons. — Abderhaldens Handb. biol. Arbeitsmeth. Abt. **IX**. 2/II: 1879-1937.

UTERMÖHL H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. — Mitt. d. Internat. Vereinig. f. Limnologie **9**: 1-38.

Übersichtsliteratur

EINSLE U. (1989): Wissenswertes über den Bodensee — Verlag Stadler Konstanz: 1-83.

KIEFER F. (1972): Naturkunde des Bodensees. — Verlag Thorbecke Sigmaringen: 1-209.

MAURER H. (1982): Der Bodensee – Landschaft, Geschichte, Kultur — Verlag Thorbecke Sigmaringen: 1-674.

ZINTZ K., LÖFFLER H. & H.G. SCHRÖDER (2009): Der Bodensee – Ein Naturraum im Wandel — ISBN 978-3-7995-0838-4, Verlag Thorbecke Sigmaringen: 1-156.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Reiner KÜMMERLIN
Hansegartenstr. 25
D-78464 Konstanz, Deutschland
E-Mail: reiner.kuemmerlin@t-online.de